

**Реализация мероприятий по совершенствованию комплексных региональных программ развития профессионального образования в целях внедрения международных стандартов подготовки высококвалифицированных кадров с учетом передового международного опыта компетенции WSI и WSR, а также с учетом ПС**

## **ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА**

**по теме 1.1.**

**«Атомно-кристаллическое строение металлов»  
примерной программы учебной дисциплины  
ОП.04. Основы материаловедения  
по профессии 15.01.05 Сварщик  
(ручной и частично механизированной сварки  
(наплавки))**

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

**Цель преподавания темы 1.1. - дать обучающимся теоретические знания:**

- о типах атомных связей и их влиянии на свойства металлов;
- об атомно-кристаллическом строении металлов и основных типах кристаллических решеток;
- об анизотропии и аллотропии металлов;
- о дефектах кристаллической решетки металлов.

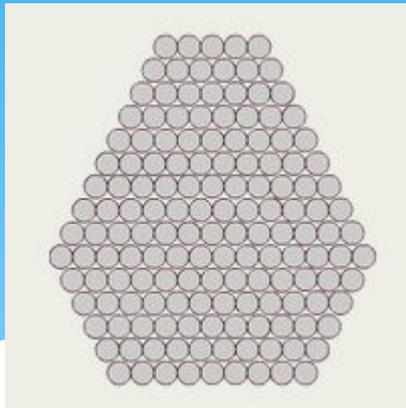
**Форма проведения занятия: лекция.**

**Место проведения занятия: учебный кабинет материаловедения.**

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**  
**Кристаллические тела.**

**Кристаллические вещества** характеризуются упорядоченным расположением атомов, когда атомы занимают в пространстве вполне определенные места. Атомы совершают относительно своего среднего положения колебания с частотой около  $10^{13}$  Гц; амплитуда этих колебаний пропорциональна температуре.

Благодаря упорядоченному расположению атомов в пространстве, их центры можно соединить воображаемыми прямыми линиями. Совокупность таких пересекающихся линий представляет пространственную решетку, которую называют *кристаллической решеткой*.



Расположение атомов в кристаллическом веществе

Кристаллические твердые тела состоят из кристаллических зерен - кристаллитов. В соседних зернах кристаллические решетки повернуты относительно друг друга на некоторый угол.

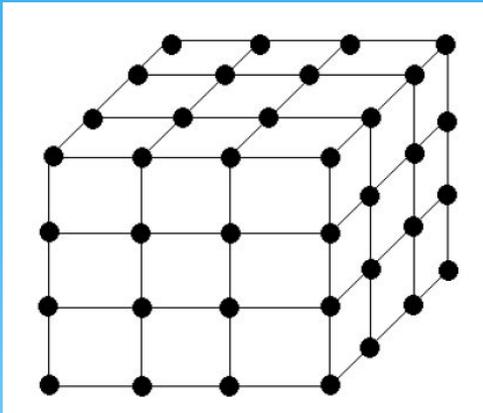
В кристаллитах соблюдаются ближний и дальний порядки. Это означает наличие упорядоченного расположения и стабильности как окружающих данный атом ближайших его соседей (*ближний порядок*), так и атомов, находящихся от него на значительных расстояниях вплоть до границ зерен (*дальний порядок*).

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Основные типы кристаллических решеток**

Все металлы являются кристаллическими телами, имеющими определенный тип кристаллической решетки, состоящей из малоподвижных положительно заряженных ионов, между которыми движутся свободные электроны.

Наименьшая часть объема кристаллической решетки, которая определяет её систему, называется *элементарной кристаллической ячейкой*.



**Схема  
пространственной  
кристаллической  
решетки**

Для описания формы и размеров элементарной кристаллической ячейки используют следующие величины: три расстояния от атомов в узлах решетки до их ближайших соседей по осям координат – *параметры решетки  $a$ ,  $b$ ,  $c$*  и три угла между этими осями –  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ .

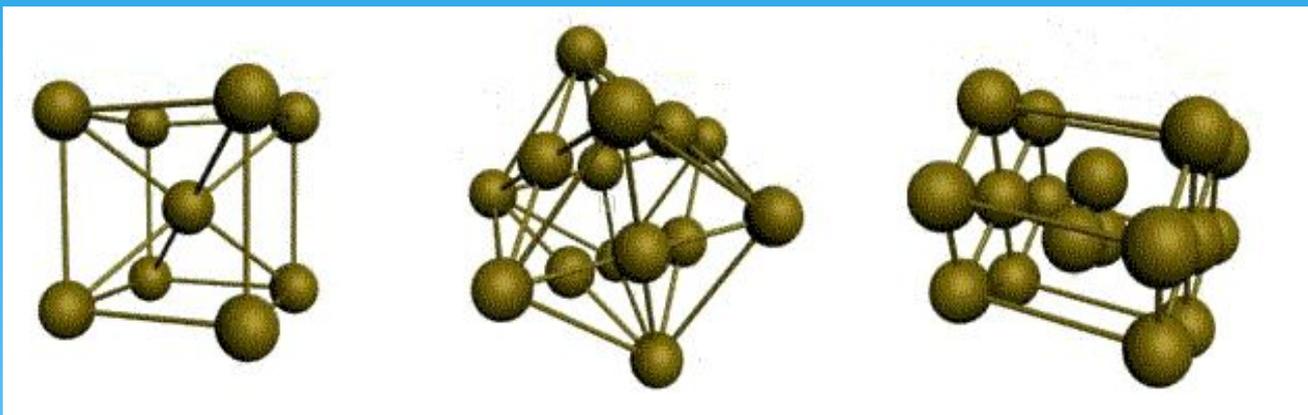
Кроме того, каждая элементарная кристаллическая ячейка имеет свои характеристики: *координационное число* – число атомов, расположенных на ближайшем одинаковом расстоянии от любого атома и *плотность упаковки* – отношение объема, занятого атомами, к объему ячейки.

Большинству металлов свойственно образование высокосимметричных решеток с плотной упаковкой атомов.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Основные типы кристаллических решеток**

Металлы имеют-объемно центрированные (ОЦК) и гранецентрированные (ГЦК) кубические решетки.



**Основные типы кристаллических решеток металлов**

объемно-центрированная  
кубическая (ОЦК)  
(2 атома на ячейку)  
а)

гранецентрированная кубическая  
(ГЦК)  
(4 атома на ячейку)  
б)

гексагональная  
плотнупакованная  
(ГП)  
(6 атомов на ячейку)  
в)

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Основные типы кристаллических решеток**

Основу ОЦК-решетки составляет элементарная кубическая ячейка (а), в которой положительно заряженные ионы металла находятся в вершинах куба, и еще один атом в центре его объема. Такой тип решетки имеют железо, хром, ванадий, вольфрам, молибден и др. металлы.

У ГЦК-решетки (б) элементарной ячейкой служит куб с центрированными гранями. Подобную решетку имеют железо, алюминий, медь, никель, свинец и др. металлы.

Третьей распространенной разновидностью решеток является гексагональная плотноупакованная (в), которая состоит из отстоящих друг от друга на параметр с параллельных центрированных гексагональных оснований. Три иона (атома) находятся на средней плоскости между основаниями. Такую решетку имеют магний, цинк, кадмий, бериллий, титан и др.

*Плотность упаковки* представляет собой отношение суммарного объема, занимаемого собственно атомами в кристаллической решетке, к ее полному объему. Различные типы кристаллических решеток имеют разную плотность упаковки атомов. В ГЦК решетке атомы занимают 74 % всего объема кристаллической решетки, а межатомные промежутки («поры») 26 %. В ОЦК решетке атомы занимают 68 % всего объема, а «поры» 32 %. Компактность решетки зависит от особенностей электронной структуры металлов и характера связи между их атомами.

От типа кристаллической решетки сильно зависят свойства металла.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Основные типы кристаллических решеток**

Основу ОЦК-решетки составляет элементарная кубическая ячейка (б), в которой положительно заряженные ионы металла находятся в вершинах куба, и еще один атом в центре его объема. Такой тип решетки имеют железо, хром, ванадий, вольфрам, молибден и др. металлы.

У ГЦК-решетки (в) элементарной ячейкой служит куб с центрированными гранями. Подобную решетку имеют железо, алюминий, медь, никель, свинец и др. металлы.

Третьей распространенной разновидностью решеток является гексагональная плотноупакованная (г), которая состоит из отстоящих друг от друга на параметр с параллельных центрированных гексагональных оснований. Три иона (атома) находятся на средней плоскости между основаниями. Такую решетку имеют магний, цинк, кадмий, бериллий, титан и др.

*Плотность упаковки* представляет собой отношение суммарного объема, занимаемого собственно атомами в кристаллической решетке, к ее полному объему. Различные типы кристаллических решеток имеют разную плотность упаковки атомов. В ГЦК решетке атомы занимают 74 % всего объема кристаллической решетки, а межатомные промежутки («поры») 26 %. В ОЦК решетке атомы занимают 68 % всего объема, а «поры» 32 %. Компактность решетки зависит от особенностей электронной структуры металлов и характера связи между их атомами.

От типа кристаллической решетки сильно зависят свойства металла.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины  
ОП 04. «Основы материаловедения»  
по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Анизотропия в кристаллах**

Под *анизотропией* понимается неодинаковость механических и других свойств в кристаллических телах вдоль различных кристаллографических направлений. Она является естественным следствием кристаллического строения, так как на различных кристаллографических плоскостях и вдоль различных направлений плотность атомов различна.

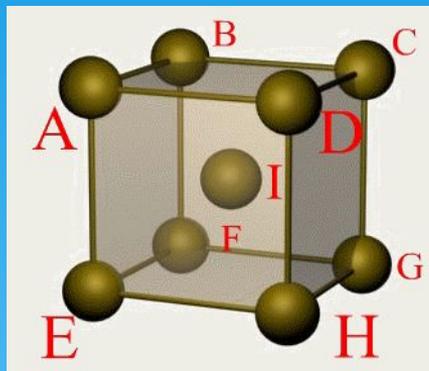
Например, в кубических решетках (б, в) по направлениям вдоль ребер насчитывается меньше атомов, чем вдоль диагоналей куба в ОЦК-решетке или диагоналей граней в ГЦК-решетке. На плоскостях, проходящих через грани ОЦК- и ГЦК-решеток, находится меньше атомов, чем на диагональных плоскостях.

Поскольку механические, физические и химические свойства вдоль различных направлений зависят от плотности находящихся на них атомов, то перечисленные свойства вдоль различных направлений в кристаллических телах должны быть неодинаковыми.

Анизотропия проявляется только в пределах одного монокристалла или зерна-кристаллита. В поликристаллических телах она не наблюдается из-за усреднения свойств по каждому направлению для огромного количества произвольно ориентированных друг относительно друга зерен. Поэтому реальные металлы являются квазиизотропными телами, т. е. псевдоизотропными.

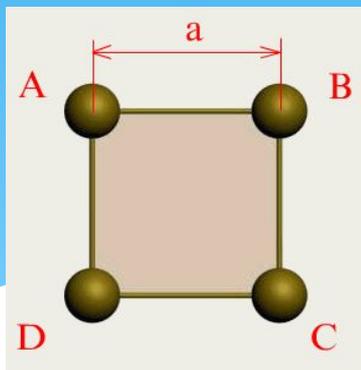
**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## Анизотропия в кристаллах



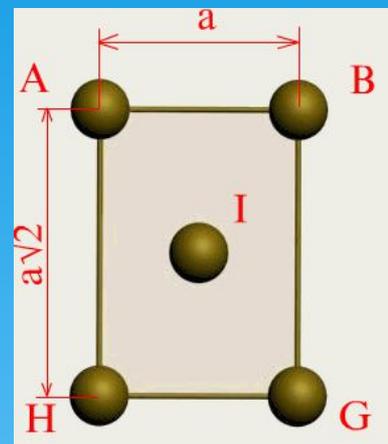
**Элементарная ячейка решетки ОЦК**

Сдвиг в кристалле происходит наиболее легко вдоль атомных плоскостей с наиболее плотной упаковкой атомов. Рассмотрим объемно-центрическую кубическую решетку (ОЦК).



**Базисная плоскость**

Плоскость ABCD. Количество атомов в плоскости ABCD – 1; площадь ABCD =  $a^2$ ; площадь, приходящаяся на 1 атом – удельная площадь:  $S = \frac{a^2}{1} = a^2$  – мера плотности упаковки



**Плоскость с максимальной упаковкой атомов**

Плоскость ABGH (рис 1.6 б).  
Количество атомов в плоскости ABGH – 2;

площадь ABGH =  $a^2 \sqrt{2}$

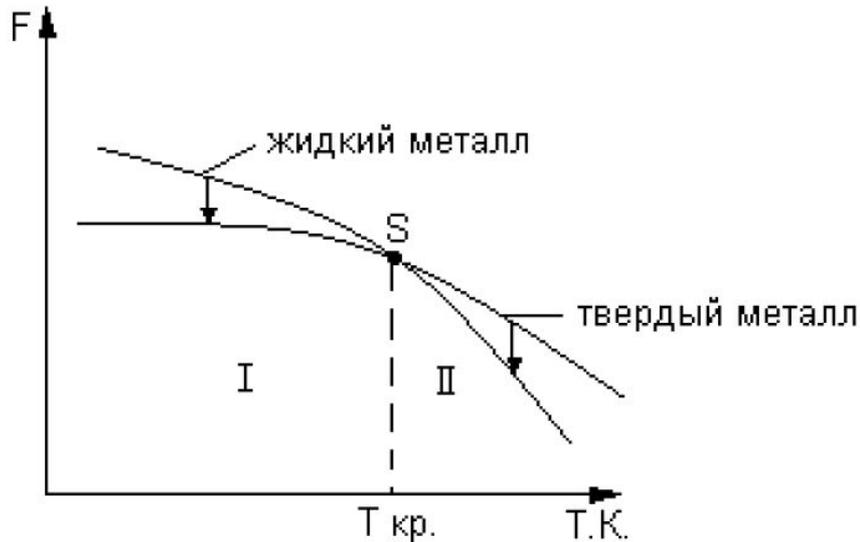
$$S = a^2 \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 0,7a^2 < a^2$$

В плоскости ABGH плотность упаковки больше чем в ABCD. Наиболее вероятен сдвиг вдоль диагональных плоскостей.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Аллотропия металлов**

Некоторые металлы, например, железо, титан, олово и др. способны по достижении определенных температур изменять кристаллическое строение, т. е. изменять тип элементарной ячейки своей кристаллической решетки. Это явление получило название *аллотропии* или *полиморфизма*, а сами переходы от одного кристаллического строения к другому называются аллотропическими или полиморфными.

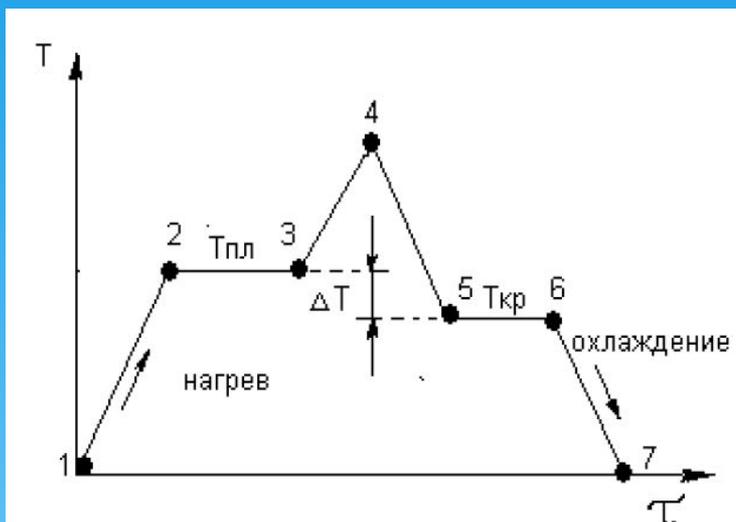


**Изменение величины свободной энергии в зависимости от температуры для твердого и жидкого состояний**

Процессы плавления и кристаллизации металлов и сплавов происходят в соответствии со II законом термодинамики. Согласно этому закону, все процессы в системе происходят в направлении уменьшения её свободной энергии. При температурах ниже  $T_{кр}$  (область I) свободная энергия твердого металла меньше свободной энергии жидкого, поэтому протекает *процесс кристаллизации*, и металл затвердевает. При температурах выше  $T_{кр}$  (область II) жидкий металл обладает меньшей свободной энергией, поэтому в данной области протекает *процесс плавления*, и металл находится в жидком состоянии.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Кристаллизация металлов**



При нагреве кристаллического тела (металла) наблюдается граница перехода из твердого состояния в жидкое. То же самое наблюдается при охлаждении, то есть при переходе из жидкого состояния в твердое. На участке 1 – 2 подвод тепла к металлу сопровождается повышением его температуры. За счет поглощения тепловой энергии увеличивается амплитуда колебаний атомов кристаллической решетки.

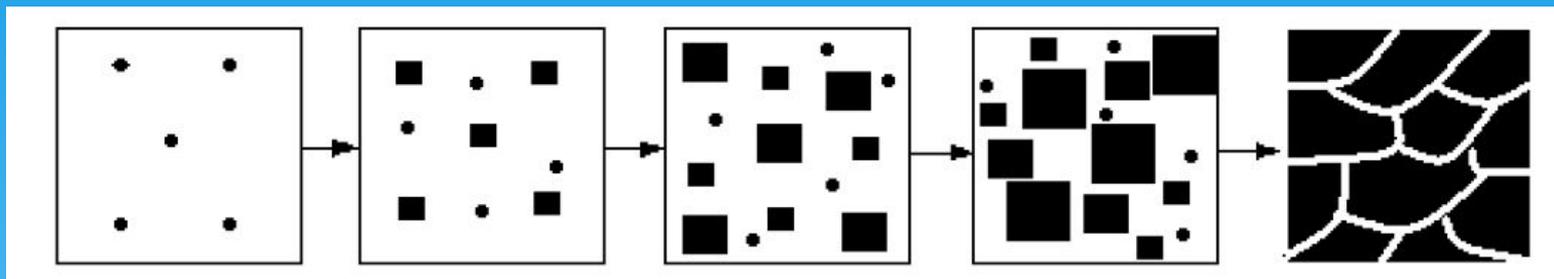
### **График нагрева и охлаждения металла**

На участке 2 – 3 подвод тепла не приводит к повышению температуры, а подводимая энергия расходуется на разрушение кристаллической решетки и перевод атомов в неупорядоченное состояние, то есть переход из твердого состояния в жидкое.

На участке 3 – 4 подвод тепла вызывает повышение температуры уже жидкого металла. На участке 4 – 5 идет охлаждение жидкого металла. На участке 5 – 6 происходит кристаллизация металла. При этом выделяется тепло, которое называют *скрытой теплотой кристаллизации*. Кристаллизация металла происходит не при температуре плавления, а при переохлаждении на величину  $\Delta T$ . Величина  $\Delta T$  называется *степенью переохлаждения* и является разностью между теоретической температурой плавления (кристаллизации) и фактической температурой кристаллизации.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов»** примерной программы учебной дисциплины  
**ОП 04. «Основы материаловедения»**  
по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))

## **Кристаллизация металлов**



**Схема процесса кристаллизации металла**

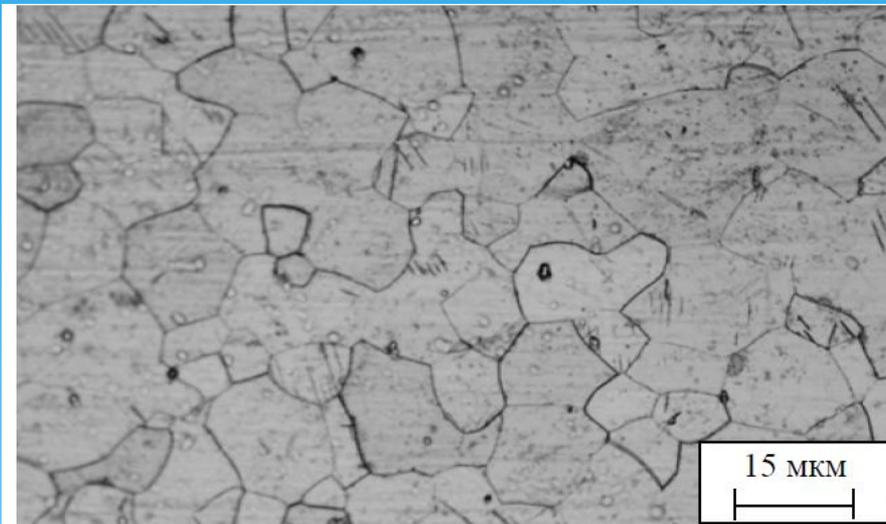
*Механизм кристаллизации металла* состоит в том, что при понижении температуры жидкого металла в нем начинают образовываться мелкие кристаллы, называемые центрами кристаллизации (или зародышами). Вокруг этих образовавшихся центров начинают расти кристаллы. Процесс кристаллизации металла состоит из 2-х элементарных процессов: 1) зарождение центров кристаллизации; 2) рост кристаллов из этих центров.

По мере роста кристаллов в жидком металле продолжают возникать новые центры кристаллизации. Растущие из них кристаллы ориентированы произвольно, и при столкновении с соседними правильная форма кристаллов нарушается, становится произвольной. Металл, состоящий из большого количества таких кристаллов, называется *поликристаллическим*.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Строение реальных металлов**

Металлы и сплавы, полученные в обычных условиях, состоят из большого количества кристаллов, то есть имеют *поликристаллическое строение*. Эти кристаллы называют *зернами*. Они обычно имеют неправильную форму. Каждое из этих зерен имеет свою ориентировку кристаллической решетки, отличающуюся от соседних.

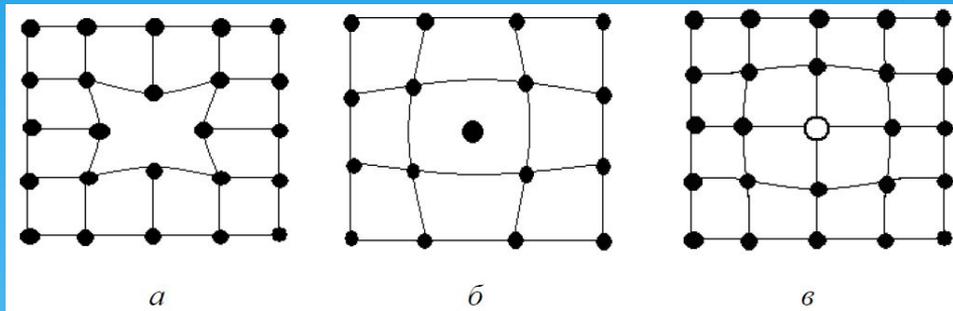


**Металлографическое изображение технически чистого титана марки VT1-0**

Изучение строения металлов с помощью электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа показало, что внутреннее кристаллическое строение зерен не является правильным. В кристаллической решётке металла существуют различные дефекты (несовершенства). Эти дефекты нарушают связи между атомами и оказывают влияние на свойства металлов.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Строение реальных металлов**



### **Схемы точечных дефектов кристаллического строения.**

Различают три вида структурных несовершенств: точечные, линейные и поверхностные. Все эти несовершенства характеризуются малыми – соизмеримыми с межатомным расстоянием – размерами. Точечные дефекты малы в трех измерениях; линейные дефекты малы в двух измерениях, а в одном велики – составляют десятки микрометров; поверхностные дефекты малы в одном измерении, а в двух – велики.

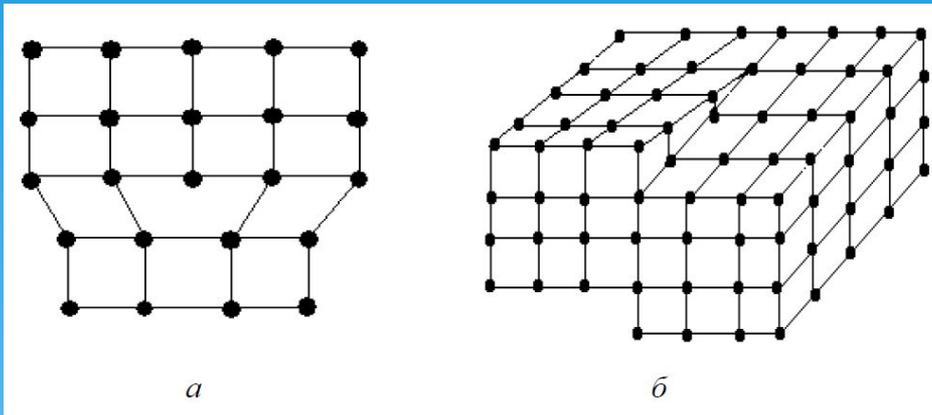
*Вакансия* – это отсутствие атома в узле кристаллической решетки (а). Вокруг вакансии возникает искажение кристаллической решетки и напряжения. Наличие вакансий в решетке сообщает атомам подвижность. Число вакансий зависит от температуры металла. С повышением температуры число вакансий сильно увеличивается. Скопление вакансий может привести к образованию пустот и пор.

*Межузельный атом* – это атом, вышедший из узла кристаллической решетки и занявший место в междоузлии (б). Вокруг такого атома также возникает искажение кристаллической решетки. Величина искажений больше, чем при образовании вакансии. Межузельные атомы вызывают упрочнение металла.

*Примесный атом* – атом, занимающий в кристаллической решетке металла место основного атома (в). Примесный атом всегда отличается по размеру от основных атомов.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Линейные дефекты кристаллической решетки**



**Схемы линейных дефектов кристаллического строения.**

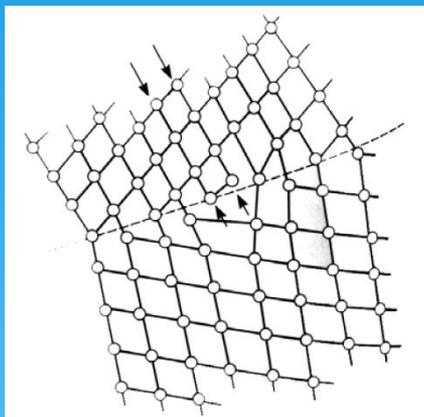
К линейным дефектам относятся дислокации.

*Дислокация* – это особая конфигурация расположения атомов в кристаллической решетке. Дислокации бывают двух основных видов: краевые и винтовые. *Краевую дислокацию* образует лишняя атомная полуплоскость, образованная в части кристалла. Эта полуплоскость называется *экстраплоскостью*.

*Винтовая дислокация* получается при частичном сдвиге кристаллической решетки. При этом образуется ступенька, проходящая по части кристалла. В металлах могут возникать также *смешанные дислокации*, которые состоят из краевых и винтовых дислокаций. Образование дислокаций повышает энергию кристалла. Плотность дислокаций зависит от состояния металла. После холодной деформации плотность дислокаций увеличивается. Изменение плотности дислокаций сильно влияет на свойства металлов. Повышение плотности дислокаций увеличивает прочность.

**ПРЕЗЕНТАЦИЯ ЛЕКЦИОННОГО КУРСА по теме 1.1. «Атомно-кристаллическое строение металлов» примерной программы учебной дисциплины ОП 04. «Основы материаловедения» по профессии 15.01.05 Сварщик (ручной и частично механизированной сварки (наплавки))**

## **Поверхностные и объемные дефекты кристаллического строения**



**Схема границы между кристаллитами.**

Эти дефекты имеют малую толщину при значительных размерах в двух измерениях. Примерами поверхностных дефектов являются *границы зерен* и *дефекты упаковки*.

При поликристаллическом строении зерна в металлах повернуты одно относительно другого, и на границах между ними атомы не имеют правильного расположения. Внутри зерен также выявляются нарушения правильного кристаллического строения. Дефекты упаковки возникают при сдвиге, внедрении или удалении плотноупакованной плоскости. Поверхностные дефекты, так же как точечные и линейные оказывают влияние на механические свойства металлов, упрочняя их.

В металлическом материале встречаются так называемые объемные дефекты. Они имеют значительные размеры в трех измерениях и образуются в процессе производства металла, либо при изготовлении заготовки или готового изделия. Это *поры*, *раковины*, *пустоты*, *включения шлаков*, *окислов* и т.д.. Объемные дефекты снижают прочность металлов.



**Объемные дефекты кристаллов.**